

OBJETO

El objeto del presente PROCESO DE CALIBRACIÓN es definir la pauta utilizada en el software CALIBRO para la calibración de las mesas de planitud, que les permita obtener resultados trazables y homogéneos y que se deriva del proceso de calibración SCI D-003, del Sistema de Calibración del Ministerio de Industria y Energía de España (Miner).

En terminología habitual de taller y centros de inspección, se conserva en muchos casos la denominación de mármoles y planos de referencia como términos equivalentes al de mesa de planitud.

4.- PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN.

Toda mesa de planitud debe de ser sometida a una calibración en el momento de su recepción. Así mismo, a lo largo de su vida deberá ser recalibrada con una periodicidad adecuada.

El proceso de calibración en el momento de la recepción, debería ser más amplio y detallado incluyéndose en él operaciones de examen del estado en el cual se encuentra la mesa y su fijación. En todos los casos se realizará una cuantificación del defecto de planitud que presenta la superficie de trabajo de la mesa y se estimará un valor para su incertidumbre. Para ello se adoptará un determinado método de exploración y se elegirá un determinado instrumento de medida.

Los detalles particulares del procedimiento de calibración pueden presentar diferencias en función del material de la mesa. A falta de especificación concreta, el procedimiento de exploración por entramado descrito en el subapartado 4.4.2 es válido para cualquier tipo de material de uso común hoy en día.

4.1.- Condiciones de calibración.

La mesa debe de encontrarse nivelada y apoyada firmemente sobre los puntos especificados por el fabricante (o en los indicados en la figura 1, para mesas con tres puntos de apoyo), estando colocada en el banco o pedestal que ocupará en servicio.

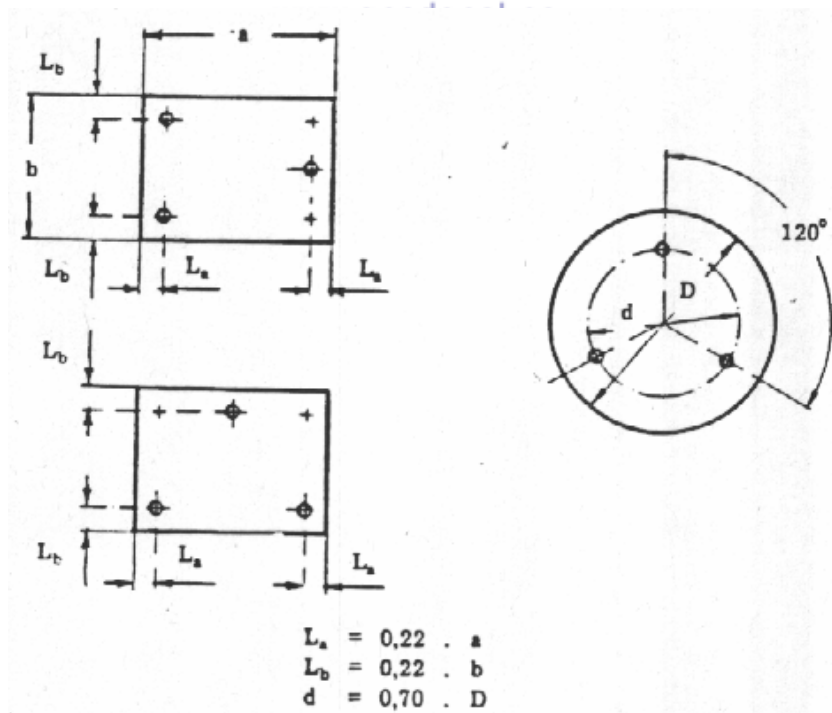


Figura 1.- Disposición de los tres apoyos.

Las mediciones se realizarán en ausencia de cualquier fuerza externa.

Los contactos sobre la mesa de los instrumentos y aparatos de medida utilizados para su calibración, no deberán ser nunca puntuales (especialmente en mesas de materiales metálicos), sino realizados a través de superficies de contacto planas de área no inferior a 230 mm².

Antes de la calibración se realizará una buena limpieza de la superficie de trabajo con el fin de eliminar cualquier rastro de polvo, suciedad, grasa o productos protectores.

Las mesas de calidades elevadas, deberán estar colocadas en ambientes tan estables como sea posible, libres de corrientes de aire, fuentes de calor, radiación solar y gradientes de temperatura.

La mesa debe de estar en equilibrio térmico con el medio ambiente que le rodea, y en el caso de mesas de granito, también en ambiente higrométrico, para lo cual se esperará el correspondiente tiempo de estabilización antes de realizar la calibración.

Se entiende que todos los datos referentes a la calibración se obtienen y se refieren a las condiciones habituales de medida de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ para la temperatura, y $50 \pm 10 \%$ para la humedad relativa. Estos intervalos serán preceptivos en salas de metrología, pudiéndose considerar intervalos de mayor amplitud en otros lugares donde no se controlen las condiciones ambientales, recomendándose en tal caso indicar explícitamente la temperatura y humedad a las que se ha realizado la calibración.

4.2.- Inspección visual.

Debe de ser realizada con especial cuidado en la primera calibración. En mesas de fundición se comprobará que la superficie de trabajo no tenga rastros de abrasivo, ralladuras, agujeros, grietas o zonas afectadas por el óxido. Las partes no mecanizadas deberán estar pintadas. Deberá también comprobarse que el espesor de la placa que materializa la superficie de trabajo no sea inferior al mínimo establecido, especialmente si se tienen indicios de que ésta ha sido remecanizada [3].

En las mesas de granito se comprobará que el material sea de grano fino, textura uniforme, sin grietas ni fisuras ni inclusiones de materiales más blandos. La superficie deberá estar libre de cavidades, raterizaciones y ralladuras.

4.3.- Instrumentos de medida.

Para calidades inferiores pueden ser de aplicación los instrumentos del 1 al 4 de la tabla 1. Para calidades intermedias se recomiendan los instrumentos numerados del 5 al 6, mientras que para las calidades superiores se recomienda el uso de sistemas interferométricos láser o niveles electrónicos pues son los únicos capaces de suministrar una incertidumbre suficientemente reducida.

Nº	NOMBRE Y NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN SCI	DIVISIÓN ESCALA
1	Regla (SCI D-06.01) y comparador (SCI D-03.01)	0,01 - 0,001 mm
2	Palanca con comparador (SCI D-06.06)	0,01 - 0,001 mm
3	Base con comparador (mesas pequeñas)	0,01 - 0,001 mm
4	Regla óptica (SCI D-06.08)	0,001 mm
5	Nivel de burbuja (SCI D-05.04)	2-1" (10-5 $\mu\text{m}/\text{m}$)
6	Autocolimador con espejo (SCI D-05.05)	1" (5 $\mu\text{m}/\text{m}$)
7	Nivel electrónico (SCI D-05.04)	1-0,5" (5-0,5 $\mu\text{m}/\text{m}$)
8	Sistema interferométrico láser (SCI D-01.15)	0,1"

Tabla 1.- Instrumentos para la calibración de mesas de planitud.

En los sistemas de exploración por entramado, el elemento captador (nivel, espejo, reflector, ..) se situará sobre una base apropiada con distancia fija entre apoyos, para que coincida con el espaciamiento elegido en el método de exploración (figura 2).

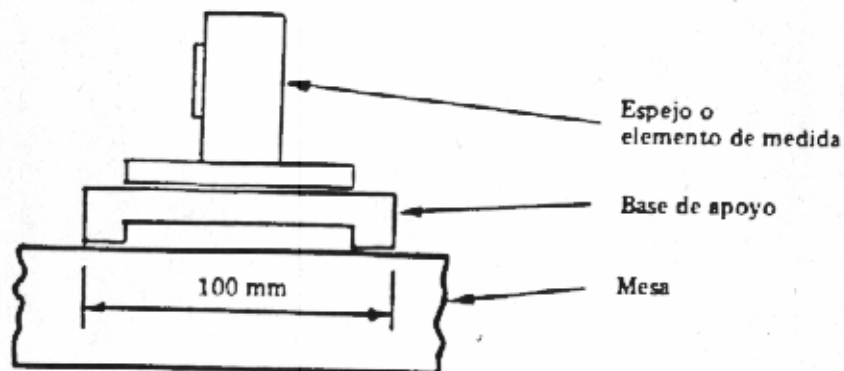


Figura 2.- Apoyo del elemento captador

4.4.- Evaluación del defecto de planitud.

La calibración de una mesa de planitud tiene como objetivo principal la determinación de la distancia vertical entre el punto más elevado y el más profundo de la superficie de trabajo de la mesa, valor que se conoce como **defecto de planitud total** P_T .

La exploración ordenada de las alturas o cotas de cada uno de los puntos de la mesa, facilita la máxima información sobre el grado de planitud de la superficie de trabajo, quedando reflejada en el mapa de desviaciones de planitud. Las cotas contenidas en este último, aparecen referidas a una referencia global, el denominado **plano de referencia global**, cuya superficie poseería toda ella cota nula.

Además del defecto de planitud total, es conveniente determinar el **defecto de planitud local** P_L , siendo obligatorio en el caso de mesas con lado mayor superior a 400 mm [2]. La evaluación de este último es bastante más laboriosa y es aconsejable utilizar un ordenador para su determinación.

Para obtener el defecto de planitud local, deben de analizarse todos los cuadros locales de lado igual a 200 mm incluidos en la zona de la mesa verificada. Para cada uno de estos cuadros ha de fijarse un nuevo plano de referencia local y respecto a él, deberán recalcularse las cotas de cada uno de los puntos incluidos en dicho cuadro. Se individualizan, para cada cuadro local, los puntos de mayor y menor cota (respecto a la referencia local) y se calcula su diferencia. Este es el valor del defecto de planitud local P_{LK} correspondiente al cuadro analizado. El defecto de planitud local P_L de la mesa será el mayor de los defectos P_{LK} obtenidos después de haber analizado la totalidad de los cuadros locales.

NOTA: La utilización de la referencia global en la evaluación de la planitud local P_L (lo que simplificaría de manera muy importante todo el proceso) conduce a la obtención de valores muy elevados de P_L .

4.4.1.- MÉTODO DE EXPLORACIÓN ALEATORIA.

Se realiza mediante palanca con comparador, o comparador sobre base, cuando se desea observar de una manera rápida y sencilla el estado de la superficie de trabajo de la mesa.

No es muy preciso, por lo que no es recomendable su uso, salvo para obtener una idea aproximada sobre el estado general de la superficie de trabajo y únicamente en el caso de mesas pequeñas (diagonal o diámetro inferior a 500 mm).

No debería ser utilizado para la determinación del defecto de planitud.

4.4.2.- MÉTODO DE EXPLORACIÓN POR ENTRAMADO.

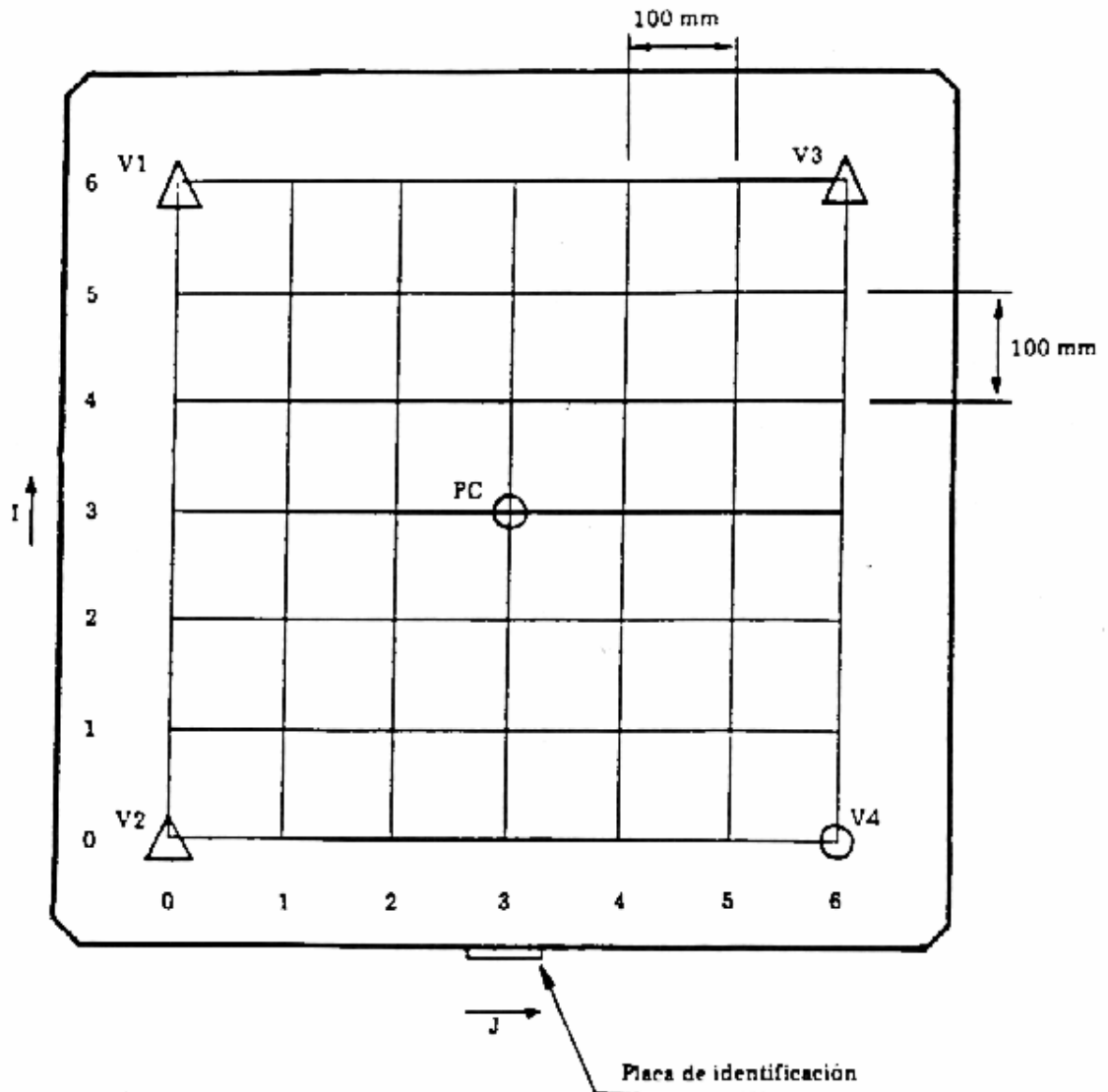
Se realiza trazando con un lápiz blando sobre la mesa, una retícula cuyos puntos de intersección serán aquellos cuyas cotas serán determinadas. La distancia entre líneas de la retícula l_r será igual a la distancia entre apoyos de la base del elemento de medida, resultando apropiada para la mayor parte de los casos la de 100 mm (figura 3). En las mesas que por su tamaño se exija la medición del defecto de planitud local, l_r , ha de ser obligatoriamente un submúltiplo exacto de 200 mm (por ejemplo: 100 mm, 60 mm, 50 mm, 40 mm, etc....).

El número de tramos en cada lado debe ser el mayor posible y preferiblemente par, a fin de poder materializar el punto central en uno de medida.

El método general consiste en establecer tres vértices (V1, V2 y V3) que definan un primer plano de referencia local. Respecto a ellos se determina la cota del punto central PC trabajando con los puntos de la diagonal principal (V2, PC y V3) para a continuación obtener la cota del cuarto vértice V4 trabajando con los puntos de la diagonal secundaria (V1, PC y V4).

El cálculo de la cota de PC, es conveniente llevarlo a cabo explorando las diagonales de manera similar a como se exploran las líneas horizontales y verticales. Para ello es obligatorio dividir éstas en un número de tramos par (con el fin de poder materializar PC en un punto de medida) tal que la longitud l_d de estos últimos, sea lo más próxima posible a la distancia entre líneas l_r , elegida para la retícula. Este modo de proceder es obligatorio cuando se utilizan sistemas interferométricos láser.

Si se utiliza un nivel (de burbuja o electrónico) puede reducirse el proceso anterior a dos únicas medidas realizadas sobre cada diagonal, con ayuda de una regla de rectitud (ver ejemplo en apartado 9). Sin embargo, esta manera de proceder no es recomendable, pues conduce a un valor más alto de la incertidumbre (ver apartados 4.4.4 y 9 [3])



www.gesdocal.es

Figura 3.- Entramado, retícula o maya de exploración

Una vez obtenidas las cotas de V1, V2, V3, PC y V4, se explora la superficie a lo largo de las líneas horizontales y verticales de la retícula, lo que permite obtener las cotas de cada uno de los puntos de intersección de dichas líneas.

Una vez obtenidas las cotas de todos los puntos de la retícula respecto al plano de referencia inicial (aquél que contiene a los vértices V1, V2 y V3), puede fijarse un nuevo plano de referencia (ver apartado 4.4.4) respecto al cual referir el mapa de desviaciones de planitud.

Éste es el método de los presentados en esta publicación, que proporciona una verificación más homogénea de la superficie de la mesa, dado que los puntos verificados están igualmente repartidos sobre la totalidad de la superficie verificada. Al mismo tiempo, es el único que permite una correcta estimación del defecto de planitud local P_L .

Para mesas de lado mayor con longitud superior a 400 mm, donde es obligatoria la obtención del defecto de planitud local P_L [1]

debe ser recomendado explícitamente el uso del método de exploración por entramado, desaconsejándose el uso de los restantes aquí descritos.

4.4.3.- MÉTODO DE EXPLORACIÓN EN DOBLE CRUZ.

Es una versión simplificada del método de exploración por entramado. Se exploran únicamente ocho líneas: las diagonales, las líneas del contorno de la retícula y las líneas de unión de los puntos medios de éstas últimas (figura 4)

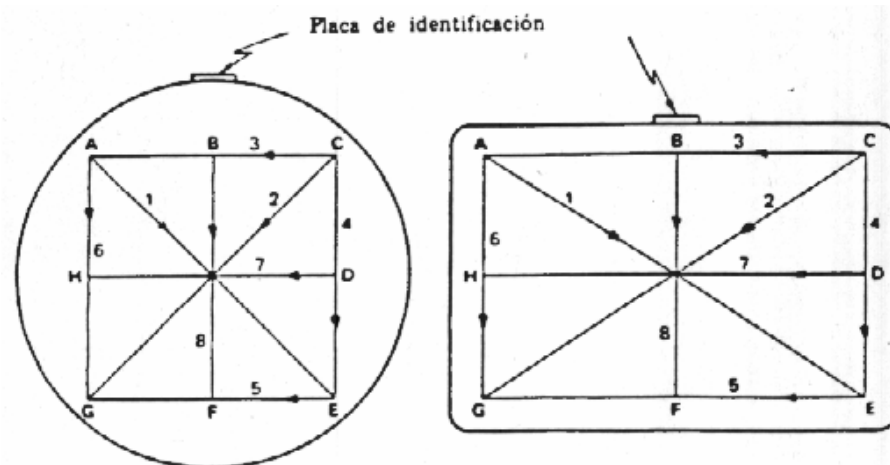


Figura 4.- Entramado de exploración en doble cruz.

Se ha de procurar que la longitud de todas las líneas a verificar sea aproximadamente múltiplo de dos veces la longitud de la base de apoyo del instrumento, de manera que siempre exista un punto central en cada tramo materializado como punto de medida.

www.gesdocal.es

Este método es más sencillo de llevar a cabo y menos costoso que el de exploración por entramado. Sin embargo las zonas exploradas no se encuentran uniformemente distribuidas, quedando zonas triangulares relativamente grandes sin explorar.

Dado que la retícula no es resultado de la unión de cuadros elementales (como en el caso de la exploración por entramado) no es posible una correcta evaluación del defecto de planitud local P_L . Por esta razón este procedimiento no debería utilizarse cuando el tamaño de la mesa exija la determinación de dicho defecto de planitud local (longitud del lado mayor de la mesa superior a 400 mm), debiendo desaconsejarse explícitamente en estos casos su uso.

4.4.4.- PLANO DE REFERENCIA.

En general, suelen utilizarse cuatro planos de referencia respecto a los cuales se proporcionan las cotas de los puntos explorados:

- El plano de referencia determinado por **tres vértices de referencia (3V)** a los que convencionalmente se les asigna una cota nula, que son V1, V2 y V3 en el caso de la exploración por entramado.
- El plano de referencia denominado de **diagonales niveladas (DN)** definido de la siguiente manera:
 - a) Cada uno de los puntos extremos de las diagonales, tiene la misma cota.
 - b) Las cotas de los cuatro vértices V1, V2, V3 y V4 son iguales en valor absoluto.
- El plano de referencia de **mínimos cuadrados (MC)**, definido con aquel respecto al cual la suma de los cuadrados de las cotas de todos los puntos explorados es mínima.
- El plano de referencia de **mínimo defecto de planitud (MP)**, definido como el plano de referencia respecto al cual el defecto de planitud obtenido es mínimo.

El plano que utiliza **tres vértices de referencia (3V)**, ha venido siendo utilizado usualmente y de manera conjunta con el método de **exploración por entramado**. Este plano como tal, viene únicamente determinado por las posiciones en el espacio de 3 puntos (los vértices V1, V2 y V3). Esto trae consigo que la incertidumbre asociada a la fijación de la referencia se concentre en la cota del cuarto vértice (V4), conduciendo a que la incertidumbre de las cotas y de las diferencias de cotas correspondientes a puntos cercanos a V4 sean altas en comparación con el resto.

www.gesdocal.es

El plano de **diagonales niveladas (DN)** suele utilizarse en el método de exploración en doble cruz. La referencia en este caso viene definida por las posiciones en cinco puntos (V1, V2, V3, V4 y PC), y a diferencia del caso anterior la incertidumbre se distribuye de manera más o menos homogénea sobre toda la superficie de exploración [3].

El plano de **mínimos cuadrados (MC)** viene determinado por la totalidad de los puntos explorados, por lo que resulta ser la referencia que mayor estabilidad estadística posee. Es por tanto la referencia que debiera conducir a una menor incertidumbre media, tanto de las cotas como de la referencia de cotas [3]. En caso de utilizar un ordenador para la evaluación del defecto de planitud **se recomienda su uso**.

El plano de referencia de **mínimo defecto de planitud (MD)** es una referencia un tanto arbitraria con una estabilidad estadística baja que conduce a valores superiores en las incertidumbres, por lo que su uso se desaconseja.

La referencia local usada en los cuadrados locales de lado igual a 200 mm, utilizados para la evaluación del defecto de planitud local, por coherencia, debe de ser análoga a la utilizada para fijar la referencia global. Es decir, si se utiliza un plano 3V para la fijación de la referencia global, un plano del mismo tipo deberá ser también utilizado para definir la referencia local. Consecuentemente, debe también ampliarse (por las mismas razones ya explicadas) la recomendación de utilización del plano de mínimos cuadrados al caso de la referencia local.

4.4.5.- ESTIMACIÓN DE INCERTIDUMBRES.

Las incertidumbres medias, estimadas para un coeficiente de incertidumbre k=2, tanto de las cotas como de las diferencias de cotas, cuando se utiliza el **método del entramado**, aparecen recogidas en las tablas 2 y 3. Dichas expresiones han sido tomadas de la referencia [3].

Referencia	Incertidumbre media de las cotas I_H
3 Vértices (3V)	$\sqrt{0,222 d I_d^2 + 0,069 (m+n) I_r^2}$
Diagonales Niveladas(DN)	$\sqrt{0,014 d I_d^2 + 0,069 (m+n) I_r^2}$
Mínimos cuadrados (MC)	$< \sqrt{0,014 d I_d^2 + 0,069 (m+n) I_r^2}$

Tabla 2.- Incertidumbres medias de las cotas cuando se utiliza el método de exploración por entramado.

m y n son respectivamente el número de tramos en que se dividen cada uno de los perfiles horizontales y verticales de la retícula y d es el número de medidas que se han realizado sobre cada diagonal.

www.gesdocal.es

Referencia	Incertidumbre media de las cotas $I_{\Delta H}$
3 Vértices (3V)	$\sqrt{0,194 d I_d^2 + 0,118 (m+n) I_r^2}$
Diagonales Niveladas(DN)	$\sqrt{0,027 d I_d^2 + 0,118 (m+n) I_r^2}$
Mínimos cuadrados (MC)	$< \sqrt{0,027 d I_d^2 + 0,118 (m+n) I_r^2}$

Tabla 3.- Incertidumbres medias de las diferencias de cotas cuando se utiliza el método de exploración por entramado.

Las incertidumbres I_d e I_r corresponden a las mediciones realizadas sobre las diagonales de la retícula respectivamente y responden a las expresiones siguientes:

$$I_d = I_{\alpha} I_d ; \quad I_r = I_{\alpha} I_r$$

donde I_d es la longitud de los tramos utilizados sobre las diagonales, I_r la distancia entre líneas de la retícula e I_α la incertidumbre (para $k=2$) **expresada en radianes** del instrumento utilizado para obtener las mediciones angulares realizadas sobre los perfiles.

Las expresiones contenidas en las tablas 2 y 3 son valores medios. Son el resultado de promediar para todos los puntos de la retícula el valor de la incertidumbre de su cota (o de su diferencia de cotas respecto a los restantes puntos). En la referencia [3] se incluyen las fórmulas que permiten estimar la incertidumbre concreta de un punto determinado de la retícula (y también, dados dos puntos cualquiera de la retícula, estimar la incertidumbre de su diferencia de cotas).

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

Los resultados aportados por la calibración serán básicamente:

- Método empleado.
- Referencia utilizada.
- Defecto de planitud total: P_T .
- Defecto de planitud local: P_L (obligatorio en mesas con lado superior a 400 mm).
- Incertidumbre estimada para el defecto de planitud total: I_{PT} .
- Incertidumbre estimada para el defecto de planitud local: I_{PL} .
- Mapa de desviaciones de planitud (cotas calculadas).
- Incertidumbre media de las cotas calculadas: I_H .
- Instrumento empleado (tipo, resolución, incertidumbre).

Que podrán ser completados con:

www.gesdocal.es

- condiciones ambientales durante la calibración (temperatura y humedad).
- Mapa de líneas de nivel de la superficie de trabajo.
- Disposición, número y tipo de apoyos de la mesa.
- Descripción de la base que sustenta la mesa.
- Localización de la mesa en el local, con indicación de si existe cimentación específica.
- Rigidez de la mesa y/o carga máxima de trabajo.

CALIDADES.

En función del tamaño de la mesa, (definido por la dimensión del lado mayor, por la de su diagonal o por la del diámetro, según la norma elegida) junto con los defectos de planitud total y local de la superficie de trabajo, se establecen diferentes calidades.

Cada norma establece un procedimiento de asignación ligeramente diferente no pudiéndose establecer una correspondencia directa entre las calidades correspondientes a cada una de ellas. En este proceso de calibración se recomienda seguir la norma española UNE 82-309 [2] (tabla 4), pudiendo adoptarse cualquier otra norma nacional equivalente, pero haciendo referencia expresa a ello.

En términos generales, las calidades se establecen mediante dígitos que van desde la calidad inferior III hasta la calidad superior 000, pasando por las II, I, 0 y 00 (calidades crecientes en este orden).

Tamaño de la mesa (mm)	000	00	0	I	II	III
100	1,5	3,0	5,5	11	22	44
160	1,5	3,0	6,0	12	23	46
250	1,5	3,0	6,5	13	25	50
315	1,5	3,5	6,5	13	26	53
400	2,0	3,5	7,0	14	28	56
500	2,0	4,0	7,5	15	30	60
630	2,0	4,0	8,0	16	33	65
800	2,5	4,5	9,0	18	36	72
1000	2,5	5,0	10,0	20	40	80
1250	3,0	5,5	11,0	23	45	90
1600	3,5	6,5	13,0	26	52	104
2000	4,0	7,5	15,0	30	60	120
2500	4,5	9,0	17,5	35	70	140

Tabla 4.- Desviaciones máximas de planitud total. T_t (μm) según UNE [2]

BIBLIOGRAFIA.

- [1] UNE 82-309 "Mesas de planitud".
- [2] DIN 876 "Messplatten aus Gusseisen und Hartgestein".
- [3] de Vicente, J. : "Incertidumbre en la medida del defecto de planitud". Laboratorio de Metrología y Metrotecnica (ETSII-UPM), 1992.



Procedimiento de calibración de Mesas de planitud is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 3.0 España License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/es/).
Based on a work at gedocal.es.